

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**ANALISIS DEL CAMBIO DE PROCESO DE UNION DE
PLACA CON ORIFICIOS Y TUBO EN UN
INTERCAMBIADOR DE CALOR**

POR
ING. LUIS ENRIQUE DIAZ GARZA

TESIS

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN TERMICA Y FLUIDOS**

MONTERREY, N. L.

JUNIO DE 1999

ALMAYJISSI DDEHL CHAMBERIO DDE PPOCHESO DDE UNION DDE

PJIAOON OPRITOOS Y T. EN UN DDE CAACOR

CAAMBERIO DDE PPOCHESO DDE UNION DDE

PJIAOON OPRITOOS Y T. EN UN DDE CAACOR

CAAMBERIO DDE PPOCHESO DDE UNION DDE

PJIAOON OPRITOOS Y T. EN UN DDE CAACOR

CAAMBERIO DDE PPOCHESO DDE UNION DDE

PJIAOON OPRITOOS Y T. EN UN DDE CAACOR

999

999

999

999

999

999

999

999

999

999

999



1080098280

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANÁLISIS DEL CAMBIO DE PROCESO DE UNIÓN DE PLACA
CON ORIFICIOS Y TUBO EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

POR

ING. LUIS ENRIQUE DIAZ GARZA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN TERMICA Y
FLUIDOS

MONTERREY NUEVO LEON A JUNIO DE 1999.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

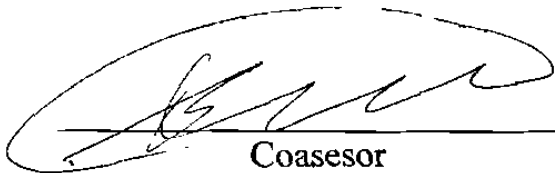
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Análisis del Cambio de Proceso de Unión de Placa con Orificios y Tubo en un Intercambiador de Calor" realizada por el alumno Ing. Luis Enrique Díaz Garza, matrícula 630101 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Térmica y Fluidos.

El Comité de Tesis



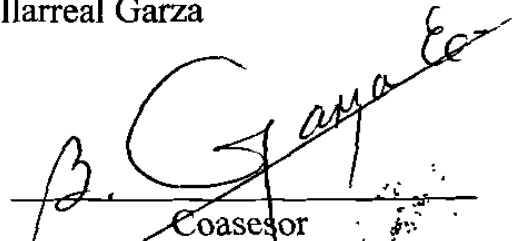
Asesor

M.C. Roberto Villarreal Garza



Coasesor

M.C. Guadalupe E. Cedillo Garza



Coasesor

M.C. Benito S. Garza Espinoza



Vo. Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-grado

San Nicolas de los Garza, N. L. a Junio de 1999

PRÓLOGO

En la actualidad, el desarrollo de la industria a hecho que cada vez exista una mayor competencia en el ramo de las plantas manufactureras. La medición y el control de los problemas de calidad se han puesto de moda y es una herramienta utilizada por los fabricantes para mejorar continuamente su producto.

Además, la competencia en el mercado, a orientado a las empresas a elaborar sus productos a un costo cada vez menor, lo que llaman programas de reducción de costos, que significan aumentar los márgenes de ganancia reduciendo el costo de fabricación del producto y manteniendo el costo final del mismo para hacerlo más atractivo a los clientes.

En este trabajo, se presentan una serie de experimentos que se realizan con la finalidad de analizar la posibilidad de implementar cambios en el proceso de fabricación del producto para evitar fallas en la calidad del mismo y mejorar el tiempo de fabricación.

La idea parte del principio de que el producto fue diseñado para hacer su trabajo sin considerar los costos de fabricación y excediendo ciertos requerimientos que se discuten en el desarrollo de los capítulos.

Los experimentos que se describen pueden significar una gran mejora del producto, y los conceptos que se toman como base para realizar los cambios pueden ser aplicables en diferentes secciones del mismo, e incluso en productos de la misma naturaleza.

Espero que esta tesis sirva de ayuda para la mejora del producto, así como de base para futuras investigaciones que tengan similitud con lo que aquí se describe.

Indice.

	página
Prólogo.....	1
Capítulo	
1. Síntesis.....	4
2. Introducción.....	7
2.1 Descripción del problema a resolver.....	7
2.2 Objetivo general de la tesis.....	7
2.3 Justificación del trabajo.....	7
2.4 Metodología.....	8
2.5 Límites del estudio.....	8
2.6 Revisión bibliográfica.....	8
2.7 Descripción del producto.....	9
3. Análisis del proceso actual.....	11
3.1 Material a utilizar.....	11
3.2 Preparación del material.....	11
3.3 Aplicación del proceso.....	14
3.4 Análisis y medición de los resultados.....	15
4. Análisis del proceso actual después de aplicar un proceso de rectificado.....	36
4.1 Análisis y medición de los resultados.....	36
5. Utilizar el proceso de expansión del tubo con la aplicación de un material para lograr el sello.....	38
5.1 Cambios de material requeridos.....	38
5.2 Descripción del proceso.....	39
5.3 Ejecución de la prueba.....	40

5.4	Análisis y medición de los resultados.....	41
5.5	Prueba de hermeticidad.....	42
6.	Utilizar el proceso de expansión de tubo sin aplicar material para lograr el sello.....	43
6.1	Cambios de material requeridos.....	43
6.2	Descripción del proceso.....	43
6.3	Ejecución de la prueba.....	44
6.4	Análisis y medición de los resultados.....	44
6.5	Prueba de hermeticidad.....	44
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	45
7.1	Conclusiones.....	45
7.2	Recomendaciones.....	45
	Bibliografía.....	47
	Listado de tablas.....	48
	Listado de figuras.....	49
	Apéndices.....	50
	Glosario de términos.....	50
	Autobiografía.....	52

1. SINTESIS.

Debido a un mercado cada vez mas exigente, las organizaciones tienen que estar constantemente en busca de la mejora continua de sus procesos con el fin de aumentar el nivel de calidad y confiabilidad que ofrecen a sus clientes.

Carrier México S. A. de C. V. Es una empresa comprometida con la calidad y que se preocupa por ofrecer los mejores productos y el mejor servicio posible a sus clientes. Es por eso que se vuelve indispensable la mejora de los procesos de producción.

En este proyecto se busca obtener la evidencia necesaria para emitir un juicio sobre la posibilidad de sustituir un proceso de manufactura por otro que implica un menor costo y a la vez elimina un problemas de restricciones al flujo, logrando de esta manera un ahorro en el tiempo de producción y una disminución en el costo de fabricación.

Nótese que la finalidad principal de este proyecto es la de eliminar el problema de restricciones en el flujo que se han detectado en los intercambiadores de calor de solución de las unidades enfriadoras de agua que se producen en Carrier México S.A. de C.V., ya que dichas restricciones producen una reducción en la capacidad de enfriamiento de dicho producto y por consiguiente una disminución en la eficiencia de operación.

El problema es detectado en el proceso de unión entre las placas con orificios y los tubos que forman parte del intercambiador de calor, el cuál consiste en utilizar un proceso de soldadura del tipo TIG para lograr el sello.

TIG. Tungsten Inert Gas.- Gas Inerte Tungsteno

Para analizar la falla y la posibilidad de implementar un nuevo proceso, el autor ha diseñado una serie de experimentos que involucran el diseño original del producto y los criterios de aceptación para el mismo.

Primeramente desarrolla un experimento, que consiste en la fabricación de un prototipo simulando un intercambiador de calor para una unidad enfriadora de agua, utilizando el mismo proceso de soldadura que se usa en las unidades. La finalidad de éste experimento consiste en evaluar la confiabilidad del proceso desde el punto de vista de la reducción en área que se obtiene al final del proceso.

Después de realizar ciertas mediciones, el autor llega a la conclusión de que el proceso actual provoca una reducción al área de flujo de entre un 7 y un 8 %, la cual es provocada por el material del tubo que es fundido y tiende a cerrar el diámetro interno del tubo.

Dichas mediciones dan una idea clara de la falla que se produce con la aplicación de soldadura en este componente de la unidad y es por eso que el autor decide aplicar un proceso adicional para corregir el problema.

El proceso adicional consiste en realizar un rectificado a el diámetro interior del tubo, para lograr retirar el material que provoca la obstrucción y regresar al diámetro interior original del tubo.

De antemano podemos decir que agregar un proceso al ya existente, está en contra de la filosofía de reducir la complejidad y el costo de fabricación del producto, por lo que el autor toca este tema únicamente para demostrar que no es rentable.

El segundo experimento consiste en sustituir el proceso de soldadura por un proceso que consiste en expandir el diámetro interior del tubo hasta lograr el sello en la unión, utilizando como herramienta una pistola neumática y un rolador, los cuales en conjunto pueden realizar la operación de rolado.

Para aplicar este proceso, se describe detalladamente los cambios que se deben realizar en los materiales para que el diseño del intercambiador cumpla con las normas internacionales más comunes utilizadas por los fabricantes de intercambiadores de calor.

Se aprovecha la fabricación de una unidad de 800 toneladas de refrigeración en la planta de Carrier México S.A. de C.V. para hacer una prueba de su teoría.

Para evitar el impacto de falla que esto puede ocasionar se determina que se puede aplicar el proceso propuesto para realizar las pruebas de confiabilidad con que debe cumplir el intercambiador y posteriormente aplicar el proceso anterior de soldadura, todo esto con la finalidad de evitar cualquier riesgo de falla que pueda ocurrir en la unidad mencionada.

La fabricación del intercambiador de calor de la unidad mencionada es aprovechada también para ejecutar el otro proceso de manufactura que se propone para lograr el sello en la unión.

El otro proceso consiste en aplicar el proceso que consiste en expandir el tubo, pero en esta ocasión se añade un material líquido que forma una película entre el tubo y la placa con orificios.

Respecto a este último proceso de manufactura propuesto, se hace un pequeño análisis del costo que implica adicionar el material líquido al proceso de unión, ya que es un producto de alto costo.

Tomando en cuenta la forma en que opera la unidad enfriadora de agua y la función que desempeña en ella el intercambiador de calor de solución, por medio de las conclusiones y recomendaciones que se hacen en esta tesis, se describe la factibilidad de implementar el proceso que consiste en solamente aplicar una expansión al diámetro interior del tubo pero sin la necesidad de aplicar el material líquido para mejorar el sello en la unión.

2. INTRODUCCION

2.1 Descripción del problema a resolver.

El proceso que se utiliza actualmente, produce una reducción en el diámetro interior de los tubos, dando como resultado una restricción en el flujo a través del intercambiador y por consiguiente la pérdida de capacidad en la unidad de absorción que utiliza dicho intercambiador de calor.

2.2 Objetivo general de la tesis.

Realizar una serie de experimentos para evaluar la posibilidad el cambio de proceso de unión de placa con orificios y tubo, de un proceso actual que consiste en fusionar el material del tubo mediante la aplicación de proceso de soldadura TIG sin material de aporte, a un proceso propuesto que consiste en expansionar el tubo mediante un proceso de rolado.

2.3 Justificación del trabajo.

Actualmente el proceso de unión utilizado produce una reducción en el diámetro interior de los tubos, lo que causa restricciones al flujo y por consiguiente pérdida de capacidad en el equipo que utiliza dicho intercambiador de calor.

La producción de los equipos que utilizan el intercambiador esta detenida hasta encontrar un proceso confiable.

2.4 Metodología.

Existen dos métodos adicionales que se pueden utilizar para unir placas con orificios y tubos, los cuales consisten en lo siguiente:

- a) Expansión del tubo sin aplicación de sellador.
- b) Expansión del tubo aplicando un material líquido para lograr el sello hermético.

Obviamente la aplicación de un material para lograr el sello implica un costo adicional, por lo que se desarrollan experimentos para evaluar ambas opciones y poder concluir la posibilidad del cambio.

Los experimentos consisten en la fabricación de prototipos de intercambiadores de calor, para realizar pruebas de hermeticidad y poder evaluar los cambios de proceso de acuerdo a los requerimientos que utiliza como requisito la compañía.

2.5 Limites de estudio.

El desarrollo de la tesis está en base a experimentos para certificar la confiabilidad de los cambios propuestos a los procesos de manufactura, por lo que las limitaciones de la investigación son en base a el cumplimiento de los requerimientos de ingeniería que rigen la fabricación del producto y que son criterio de aceptación del mismo.

2.6 Revisión bibliografica.

Los manuales utilizados como apoyo para el desarrollo de la tesis, no consideran problemas de fabricación, únicamente tocan el tema de fallas en la operación de los equipos.

En base a las fallas que pueden ocasionar las perdidas de capacidad en el producto, se decidió inspeccionar los intercambiadores de calor, y es de aquí de donde parte la idea de reemplazar el proceso de unión entre las placas con orificios y los tubos.

2.7 Descripción del producto.

Las unidades enfriadoras de agua tipo absorción de doble efecto consisten de un evaporador, absorbedor, condensador, generadores de alta y baja temperatura, intercambiadores de calor de solución, bombas de solución y refrigerante, un sistema de purga y controles auxiliares. El agua es el refrigerante que se mantiene en el recipiente a baja presión absoluta (de vacío). La unidad de absorción opera bajo el principio de que a presión de vacío, el agua hierve a muy baja temperatura, en éste caso, aproximadamente a 4.4 °C, utilizando esto para enfriar el agua que circula a través de los tubos de cobre en el evaporador. Una bomba de refrigerante recircula el refrigerante agua, rociándolo sobre los tubos de el evaporador para mejorar la transferencia de calor.

Para hacer continuo el proceso de enfriamiento, el refrigerante vapor que se produce en el evaporador, debe ser removido a la misma razón que se produce. Para esto, una solución de Bromuro de Litio (la cual tiene una alta afinidad con el agua) absorbe el vapor de agua. A medida que este proceso continúa, el bromuro de litio tiende a diluirse, lo cuál reduce su capacidad de absorber vapor de refrigerante (agua). Después de esto, una bomba de solución transfiere la solución débil a los generadores de alta y baja temperatura, donde ésta es convertida en solución fuerte, con la introducción de vapor a alta presión, el cuál ayuda a que la solución débil elimine mediante evaporación el agua que había absorbido. Un aparato de control de nivel automáticamente mantiene el flujo de solución óptimo a los generadores a todas las condiciones de operación, para obtener mayor eficiencia.

Aproximadamente la mitad de la solución diluida es bombeada a el generador de alta temperatura, donde esta es calentada y reconcentrada por vapor a alta presión. La otra mitad de la solución débil fluye hacia el generador de baja temperatura, donde es calentada y reconcentrada por la alta temperatura de el vapor de agua que libera la solución débil en el generador de alta temperatura. El vapor de agua liberado en el lado casco de el generador de baja en combinación con el vapor de agua condensado de el lado tubo de el generador de baja, entran al condensador para ser enfriadas y regresadas al estado líquido. De aquí, el refrigerante agua retorna a el evaporador para empezar un nuevo ciclo.

Para remover calor de la unidad de absorción, se utiliza agua que proviene de una torre de enfriamiento, la cuál circula primero por los tubos del absorbedor, para remover el calor de vaporización. Esta misma agua después, es circulada por los tubos del condensador. La solución fuerte (reconcentrada) que proviene de los generadores de alta y baja temperatura, también debe regresar al absorbedor, para iniciar un nuevo ciclo. Para mejorar la eficiencia, la solución fuerte del generador de alta temperatura, es pasada a través de un intercambiador de calor de alta temperatura para precalentar la solución débil que fluye hacia dicho generador y preenfriar dicha solución fuerte. Posteriormente, ésta solución fuerte es combinada con la solución fuerte que proviene del generador de baja temperatura y es pasada a través de un intercambiador de calor de baja temperatura para el mismo propósito antes de que retorne al absorbedor.

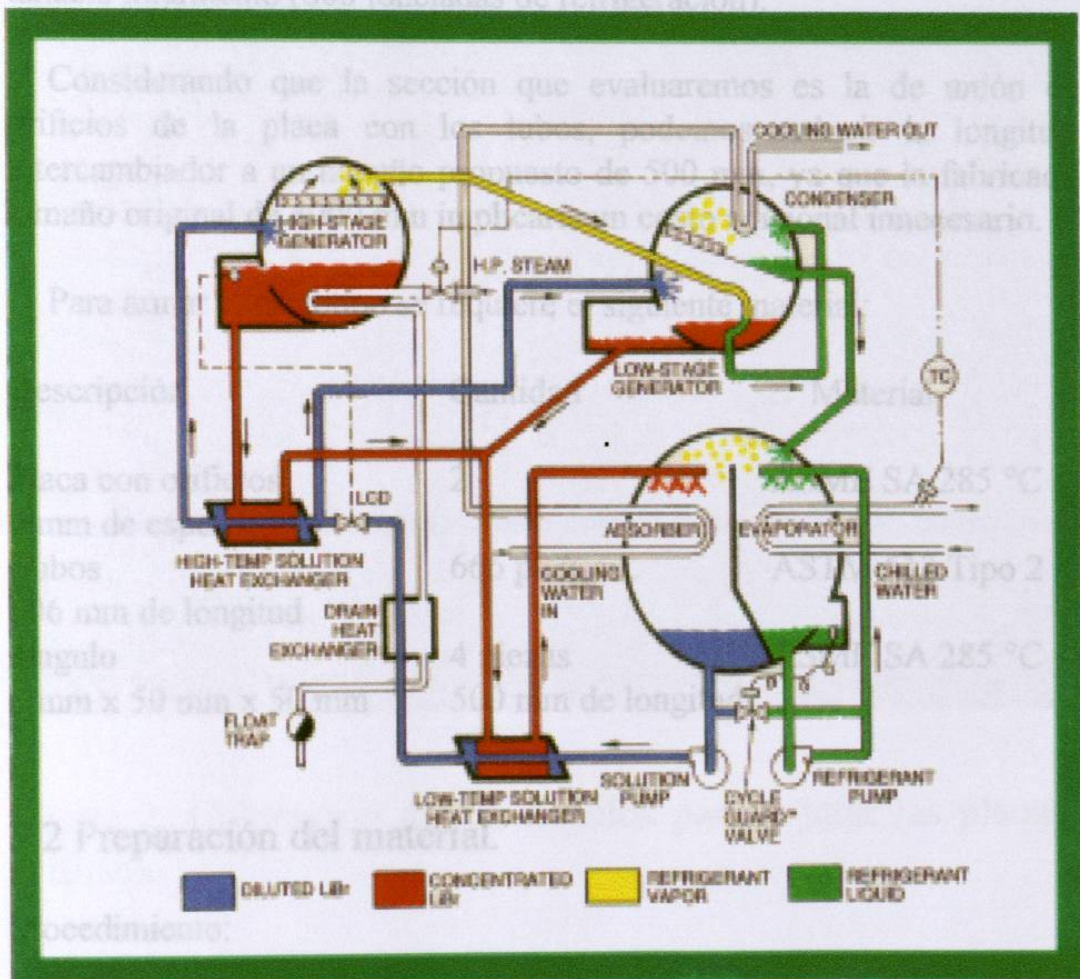


Figura 1. Diagrama esquemático del ciclo de absorción de doble efecto. (Cortesía de Carrier México)

3. ANALISIS DEL PROCESO ACTUAL.

3.1 Material a utilizar.

Para realizar el análisis del proceso actual se requiere de la fabricación de un prototipo que consiste en un intercambiador de calor de sección transversal exactamente igual al que utiliza una unidad de absorción de un tamaño intermedio (800 toneladas de refrigeración).

Considerando que la sección que evaluaremos es la de unión de los orificios de la placa con los tubos, podemos reducir la longitud del intercambiador a un tamaño propuesto de 500 mm, ya que la fabricación al tamaño original de 4000 mm implicaría un costo adicional innecesario.

Para armar el prototipo se requiere el siguiente material:

Descripción	Cantidad	Material
Placa con orificios 9 mm de espesor	2	ASME SA 285 °C
Tubos 506 mm de longitud	666 piezas	ASTM 513 Tipo 2
Ángulo 6 mm x 50 mm x 50 mm	4 piezas 500 mm de longitud	ASME SA 285 °C

3.2 Preparación del material.

Procedimiento:

1.- Colocar las placas con orificios perfectamente alineadas y a una distancia de 500 mm.

- 2.- Colocar dos de los ángulos en la parte superior de las placas con orificios y aplicar un punteo de soldadura.
- 3.- Girar 180° el ensamble y colocar los otros dos tramos de ángulo con un punteo de soldadura.
- 4.- Verificar que la dimensión de 500mm se cumple en las cuatro esquinas.
- 5.- Aplicar soldadura en las secciones que los ángulos sujetan a las placas con orificios.
- 6.- Colocar los 666 tubos en el ensamble como se muestra en la figura 2.

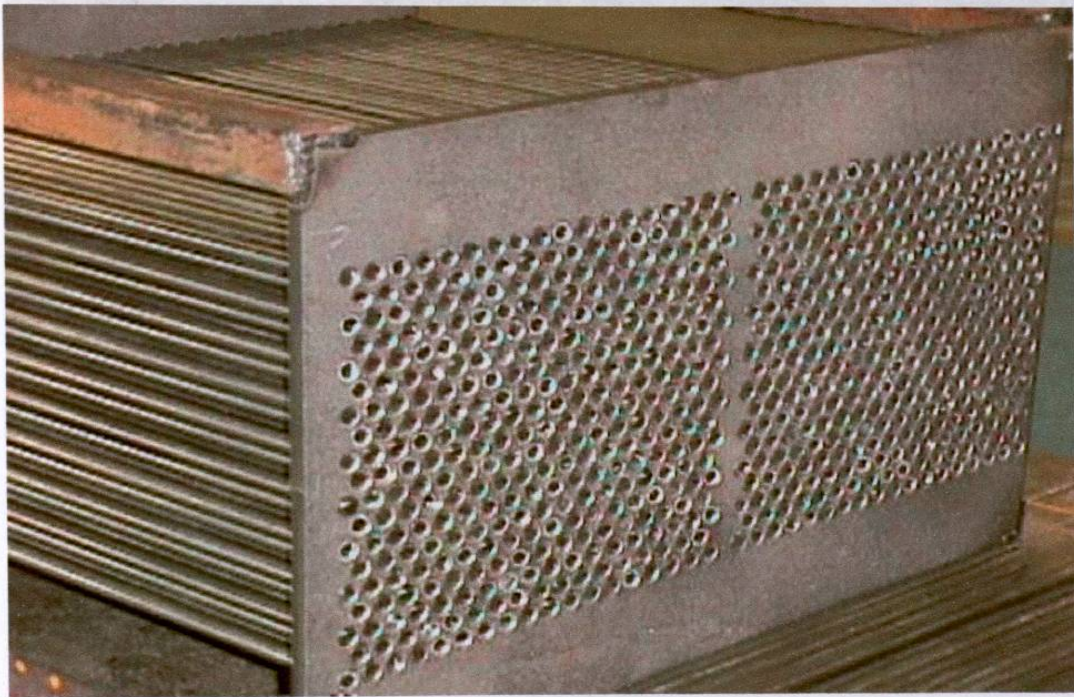


Figura 2. Colocación de los ángulos para sujetar las placas con orificios.

3.3 Aplicación del proceso.

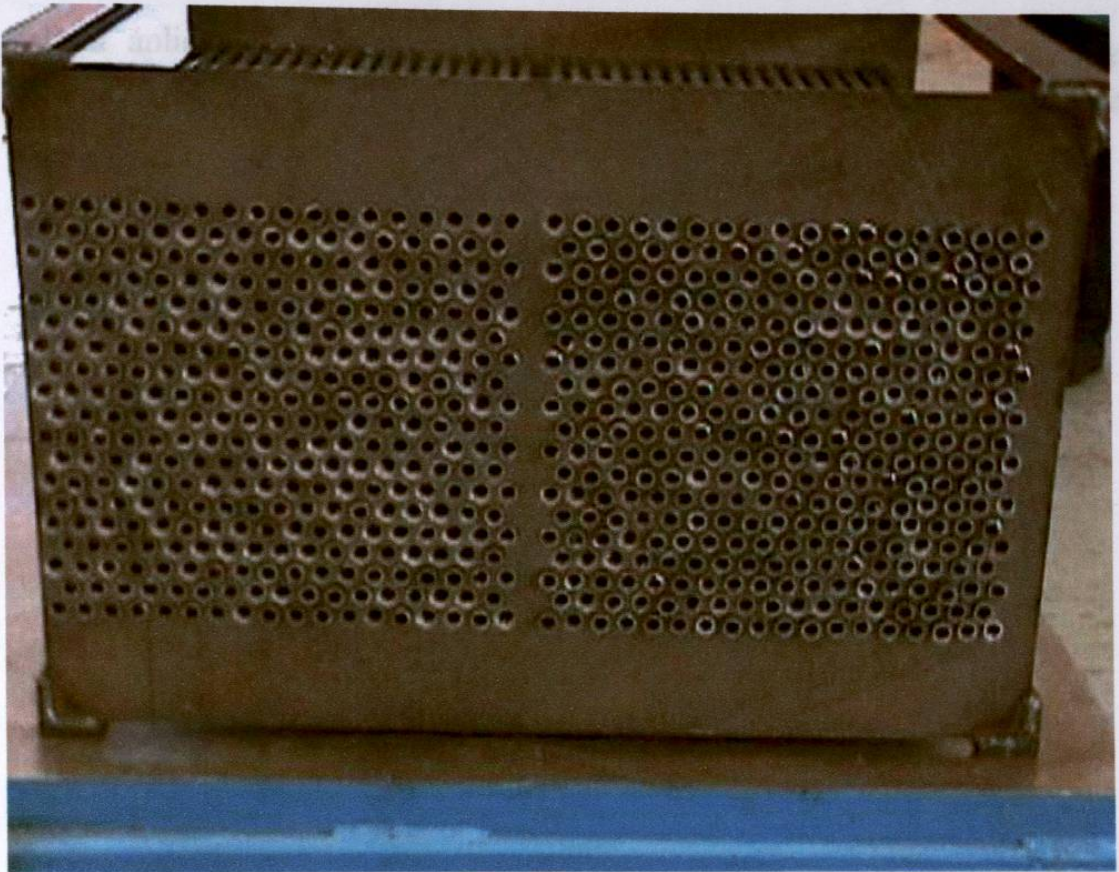


Figura 3. Colocación de los tubos en las placas con orificios.

Figura 4. Aplicación del proceso de soldadura.

3.3 Aplicación del proceso.

Para aplicar la soldadura se utiliza una maquina marca Lincoln para soldadura TIG y los pasos del proceso se explican en las siguientes fotografías.

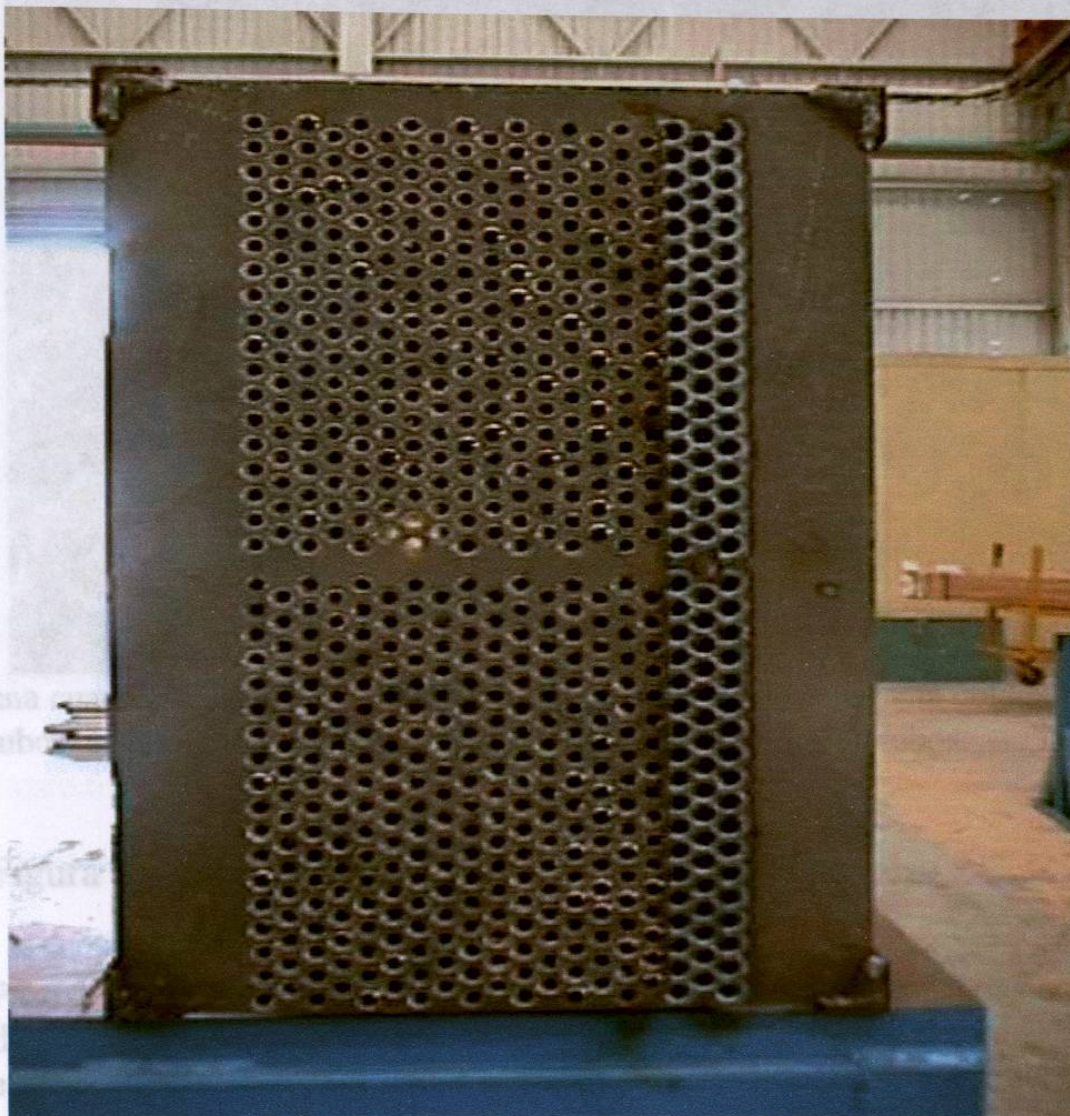
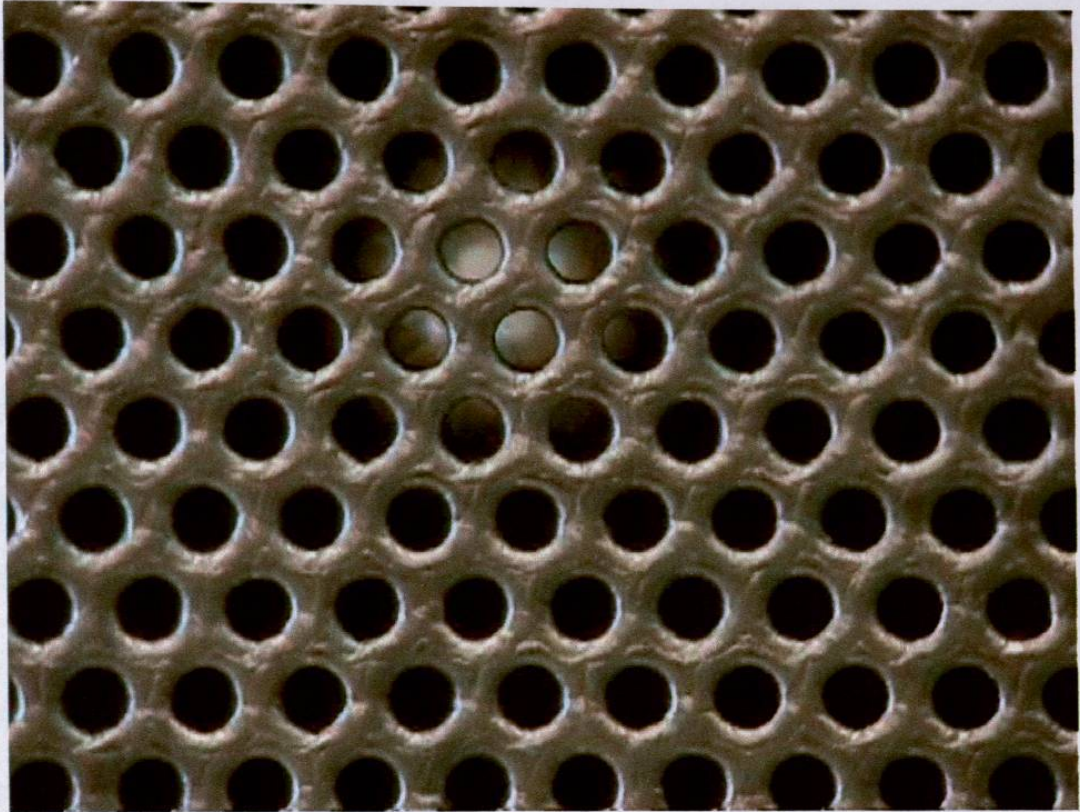


Figura 4. Aplicación del proceso de soldadura.

Para tomar las medidas del diámetro inferior del tubo después de aplicar la soldadura, se utiliza un aparato de la marca Borematic para medición precisa de diámetros interiores. Se aprovecha este paso para medir el diámetro interno

Paso 1: La soldadura se aplica en forma descendente y solo se aplica en aproximadamente tres cuartas partes de la circunferencia del tubo, dejando



una cuarta parte sin soldar en la parte izquierda. Al terminar una columna de tubos, se regresa al tubo superior de la siguiente columna de tubos.

Figura 6. Ingeniero de Carrier México midiendo los resultados.

Figura 5. Aspecto de la soldadura al finalizar el proceso

Los datos obtenidos se enlistan en las siguientes tablas:

Paso 2: De la misma manera que en el paso 1, se cubren tres cuartas partes de la circunferencia del tubo en la columna de el lado izquierdo, y se aprovecha este paso para soldar la cuarta parte de la circunferencia del tubo en la columna del lado derecho, misma que no se soldó en el paso 1.

3.4 Medición y análisis de los resultados.

Para tomar las medidas del diámetro inferior del tubo después de aplicar la soldadura, se utiliza un aparato de la marca Borematic para medición precisa de diámetros internos. Se aprovecha este paso para medir el diámetro interno

del tubo y posteriormente el diámetro en la zona donde se aplicó la soldadura.



Figura 6. Ingeniero de Carrier México midiendo los resultados.

Los datos obtenidos se enlistan en las siguientes tablas:

Para el lado A se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 1:

No.	Día. Inicial	Día. Final	Diferenci a
1	8.094	7.855	0.239
2	8.088	8.023	0.065
3	8.115	7.863	0.252
4	8.112	7.928	0.184

5	8.117	7.887	0.23
6	8.092	7.764	0.328
7	8.113	7.81	0.303
8	8.11	7.94	0.17
9	8.099	7.806	0.293
10	8.088	7.634	0.454
11	8.097	7.898	0.199
12	8.097	7.845	0.252
13	8.145	7.971	0.174
14	8.087	7.905	0.182
15	8.112	8.021	0.091
16	8.114	7.923	0.191
17	8.062	7.841	0.221
18	8.098	7.965	0.133
19	8.091	7.912	0.179
20	8.13	7.755	0.375
21	8.114	7.841	0.273
22	8.065	7.971	0.094
23	8.097	7.833	0.264
24	8.104	7.66	0.444
25	8.083	7.841	0.242
26	8.065	7.58	0.485
27	8.095	7.958	0.137
28	8.138	7.936	0.202
29	8.112	7.904	0.208
30	8.133	7.96	0.173
31	8.124	7.881	0.243
32	8.138	7.879	0.259
33	8.152	8.01	0.142
34	8.139	7.828	0.311
35	8.132	7.908	0.224
36	8.118	7.897	0.221
37	8.125	7.905	0.22
38	8.126	7.735	0.391
39	8.127	8.031	0.096
40	8.128	7.975	0.153
41	8.159	7.763	0.396
42	8.089	7.734	0.355

43	8.111	7.83	0.281
44	8.134	7.826	0.308
45	8.121	7.783	0.338
46	8.135	7.961	0.174
47	8.144	7.824	0.32
48	8.082	7.879	0.203
49	8.105	7.994	0.111
50	8.142	7.973	0.169
51	8.173	7.89	0.283
52	8.14	7.798	0.342
53	8.13	7.938	0.192
54	8.15	7.695	0.455
55	8.12	7.84	0.28
56	8.137	7.785	0.352
57	8.099	7.701	0.398
58	8.111	7.904	0.207
59	8.114	7.717	0.397
60	8.117	7.784	0.333
61	8.132	7.641	0.491
62	8.151	7.829	0.322
63	8.228	7.621	0.607
64	8.145	7.879	0.266
65	8.09	7.666	0.424
66	8.113	7.661	0.452
67	8.117	7.656	0.461
68	8.135	7.683	0.452
69	8.101	7.996	0.105
70	8.115	7.843	0.272
71	8.129	7.75	0.379
72	8.125	7.983	0.142
73	8.118	7.844	0.274
74	8.131	7.95	0.181
75	8.152	8.006	0.146
76	8.128	7.924	0.204
77	8.133	7.8	0.333
78	8.17	7.77	0.4
79	8.195	7.682	0.513
80	8.136	7.774	0.362

81	8.143	7.546	0.597
82	8.13	7.654	0.476
83	8.129	7.684	0.445
84	8.139	7.896	0.243
85	8.121	7.468	0.653
86	8.131	7.836	0.295
87	8.127	7.825	0.302
88	8.123	7.572	0.551
89	8.124	7.713	0.411
90	8.15	7.89	0.26
91	8.14	7.651	0.489
92	8.101	7.756	0.345
93	8.122	7.749	0.373
94	8.123	7.923	0.2
95	8.157	7.676	0.481
96	8.132	7.581	0.551
97	8.143	7.567	0.576
98	8.166	7.98	0.186
99	8.118	7.879	0.239
100	8.138	7.702	0.436
101	8.149	7.909	0.24
102	8.118	7.822	0.296
103	8.111	7.66	0.451
104	8.132	7.713	0.419
105	8.152	7.695	0.457
106	8.129	7.964	0.165
107	8.132	7.816	0.316
108	8.118	7.852	0.266
109	8.176	7.991	0.185
110	8.179	8.096	0.083
111	8.16	8.02	0.14
112	8.138	7.943	0.195
113	8.128	7.873	0.255
114	8.159	7.588	0.571
115	8.116	7.921	0.195
116	8.132	7.737	0.395
117	8.128	7.681	0.447
118	8.2	8.025	0.175

119	8.107	7.692	0.415
120	8.147	7.775	0.372
121	8.134	7.801	0.333
122	8.102	7.764	0.338
123	8.155	7.878	0.277
124	8.118	7.646	0.472
125	8.151	7.917	0.234
126	8.101	7.966	0.135
127	8.134	7.81	0.324
128	8.116	8.031	0.085
129	8.11	7.851	0.259
130	8.138	7.94	0.198
131	8.108	7.839	0.269
132	8.087	7.741	0.346
133	8.119	7.673	0.446
134	8.111	7.527	0.584
135	8.107	7.528	0.579
136	8.129	7.913	0.216
137	8.114	7.758	0.356
138	8.151	7.855	0.296
139	8.127	7.837	0.29
140	8.138	7.796	0.342
141	8.157	7.572	0.585
142	8.112	7.81	0.302
143	8.096	7.619	0.477
144	8.104	7.948	0.156
145	8.089	7.695	0.394
146	8.117	7.913	0.204
147	8.111	7.882	0.229
148	8.096	7.964	0.132
149	8.144	7.706	0.438
150	8.176	7.702	0.474
151	8.099	7.662	0.437
152	8.092	7.82	0.272
153	8.118	7.621	0.497
154	8.131	7.706	0.425
155	8.096	7.748	0.348
156	8.125	7.894	0.231

157	8.125	7.788	0.337
158	8.096	7.864	0.232
159	8.144	7.843	0.301
160	8.09	7.787	0.303
161	8.121	7.902	0.219
162	8.103	7.759	0.344
163	8.084	7.699	0.385
164	8.129	7.827	0.302
165	8.09	7.738	0.352
166	8.093	7.83	0.263
167	8.108	7.823	0.285
168	8.111	7.599	0.512
169	8.105	7.821	0.284
170	8.128	7.82	0.308
171	8.088	7.725	0.363
172	8.133	7.831	0.302
173	8.089	7.663	0.426
174	8.102	7.777	0.325
175	8.106	7.98	0.126
176	8.102	7.9	0.202
177	8.094	7.785	0.309
178	8.095	7.96	0.135
179	8.082	7.844	0.238
180	8.17	7.707	0.463
181	8.105	7.808	0.297
182	8.101	7.645	0.456
183	8.119	7.749	0.37
184	8.096	7.937	0.159
185	8.123	7.991	0.132
186	8.081	7.673	0.408
187	8.091	7.869	0.222
188	8.099	7.664	0.435
189	8.066	7.762	0.304
190	8.091	7.778	0.313
191	8.108	7.814	0.294
192	8.071	7.797	0.274
193	8.126	7.997	0.129
194	8.15	7.863	0.287

195	8.091	7.582	0.509
196	8.089	7.888	0.201
197	8.132	7.882	0.25
198	8.128	7.928	0.2
199	8.128	7.995	0.133
200	8.123	7.845	0.278
201	8.129	7.845	0.284
202	8.098	7.919	0.179
203	8.115	7.889	0.226
204	8.105	7.915	0.19
205	8.115	7.912	0.203
206	8.098	7.98	0.118
207	8.126	7.94	0.186
208	8.116	7.897	0.219
209	8.127	7.95	0.177
210	8.126	7.923	0.203
211	8.101	7.982	0.119
212	8.11	7.936	0.174
213	8.116	7.759	0.357
214	8.125	7.718	0.407
215	8.095	7.741	0.354
216	8.103	7.715	0.388
217	8.113	7.702	0.411
218	8.1	7.844	0.256
219	8.225	7.925	0.3
220	8.195	7.957	0.238
221	8.118	7.834	0.284
222	8.101	7.819	0.282
223	8.095	7.831	0.264
224	8.132	7.735	0.397
225	8.148	7.726	0.422
226	8.078	7.81	0.268
227	8.178	7.969	0.209
228	8.146	7.784	0.362
229	8.132	7.728	0.404
230	8.132	7.83	0.302
231	8.125	7.774	0.351
232	8.124	7.887	0.237

233	8.092	7.841	0.251
234	8.121	7.779	0.342
235	8.08	7.878	0.202
236	8.09	7.752	0.338
237	8.088	7.857	0.231
238	8.083	7.872	0.211
239	8.134	7.861	0.273
240	8.091	7.73	0.361
241	8.103	7.966	0.137
242	8.145	7.644	0.501
243	8.111	7.919	0.192
244	8.11	7.924	0.186
245	8.113	7.85	0.263
246	8.11	7.785	0.325
247	8.096	7.732	0.364
248	8.146	7.74	0.406
249	8.107	7.813	0.294
250	8.157	7.897	0.26
251	8.122	7.702	0.42
252	8.097	7.937	0.16
253	8.135	7.883	0.252
254	8.097	7.951	0.146
255	8.186	8.014	0.172
256	8.094	7.657	0.437
257	8.103	7.884	0.219
258	8.121	7.961	0.16
259	8.122	8.055	0.067
260	8.116	7.908	0.208
261	8.125	7.865	0.26
262	8.11	7.837	0.273
263	8.144	7.856	0.288
264	8.127	7.62	0.507
265	8.151	7.853	0.298
266	8.092	8.016	0.076
267	8.162	7.966	0.196
268	8.103	7.799	0.304
269	8.111	7.817	0.294
270	8.139	7.901	0.238

271	8.054	7.784	0.27
272	8.095	7.69	0.405
273	8.079	7.81	0.269
274	8.143	7.88	0.263
275	8.104	7.704	0.4
276	8.131	7.79	0.341
277	8.123	7.78	0.343
278	8.09	7.882	0.208
279	8.144	7.529	0.615
280	8.136	7.892	0.244
281	8.09	7.472	0.618
282	8.098	7.607	0.491
283	8.113	7.91	0.203
284	8.157	7.696	0.461
285	8.114	7.641	0.473
286	8.108	7.55	0.558
287	8.095	7.826	0.269
288	8.124	7.332	0.792
289	8.134	7.926	0.208
290	8.11	7.84	0.27
291	8.135	7.988	0.147
292	8.12	7.737	0.383
293	8.086	7.981	0.105
294	8.112	7.495	0.617
295	8.114	7.538	0.576
296	8.133	7.973	0.16
297	8.095	7.837	0.258
298	8.087	7.836	0.251
299	8.121	7.885	0.236
300	8.115	7.823	0.292
301	8.121	7.778	0.343
302	8.136	7.885	0.251
303	8.104	7.657	0.447
304	8.126	7.855	0.271
305	8.134	7.84	0.294
306	8.114	7.818	0.296
307	8.11	7.817	0.293
308	8.097	7.821	0.276

309	8.113	7.951	0.162
310	8.127	8.016	0.111
311	8.082	7.786	0.296
312	8.121	7.675	0.446
313	8.093	7.834	0.259
314	8.144	7.763	0.381
315	8.128	7.843	0.285
316	8.116	7.581	0.535
317	8.075	7.535	0.54
318	8.131	7.83	0.301
319	8.138	7.729	0.409
320	8.123	7.703	0.42
321	8.14	7.54	0.6
322	8.131	7.802	0.329
323	8.096	7.588	0.508
324	8.098	7.559	0.539
325	8.095	7.832	0.263
326	8.1	7.524	0.576
327	8.098	7.39	0.708
328	8.087	7.751	0.336
329	8.12	7.516	0.604
330	8.129	7.81	0.319
331	8.12	7.971	0.149
332	8.127	7.927	0.2
333	8.091	7.44	0.651

Resultados de lado A

	Dia. Inicial	Dia. Final	Diferencia
Suma	2703.626	2600.548	103.078
Promedio	8.118997	7.80945345	0.30954354
	Area Aguj. Tubo	Area Soldad.	% Red Area
Resultado	51.7708483	47.8989765	7.47886503

Los resultados para el lado A nos indican un 7.47 % en reducción de área en la entrada a los tubos a través de la cual se realiza el flujo de la solución débil en el intercambiador de calor.

Para el lado B se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 2

No.	Dia. Inicial	Dia. Final	Diferencia
1	8.191	7.784	0.407
2	8.108	7.83	0.278
3	8.175	7.945	0.23
4	8.142	7.926	0.216
5	8.115	7.915	0.2
6	8.114	7.875	0.239
7	8.129	7.919	0.21
8	8.154	7.909	0.245
9	8.15	7.961	0.189
10	8.133	7.839	0.294
11	8.137	7.961	0.176
12	8.156	7.731	0.425
13	8.132	7.696	0.436
14	8.121	7.807	0.314
15	8.097	7.702	0.395
16	8.089	7.889	0.2
17	8.115	7.793	0.322
18	8.133	7.86	0.273
19	8.127	7.537	0.59
20	8.205	8.047	0.158

21	8.138	7.66	0.478
22	8.153	7.751	0.402
23	8.184	7.705	0.479
24	8.145	7.89	0.255
25	8.19	7.868	0.322
26	8.143	7.783	0.36
27	8.141	7.88	0.261
28	8.104	7.816	0.288
29	8.125	7.886	0.239
30	8.144	7.769	0.375
31	8.127	7.741	0.386
32	8.152	7.519	0.633
33	8.15	7.66	0.49
34	8.122	7.702	0.42
35	8.137	7.509	0.628
36	8.132	7.51	0.622
37	8.127	7.517	0.61
38	8.13	7.768	0.362
39	8.14	7.766	0.374
40	8.13	7.815	0.315
41	8.114	7.714	0.4
42	8.115	7.797	0.318
43	8.08	7.778	0.302
44	8.183	7.663	0.52
45	8.148	7.88	0.268
46	8.159	7.958	0.201
47	8.114	7.934	0.18
48	8.135	7.923	0.212
49	8.193	7.801	0.392
50	8.133	7.777	0.356
51	8.144	7.994	0.15
52	8.148	7.781	0.367
53	8.127	7.813	0.314
54	8.112	7.864	0.248
55	8.117	7.674	0.443
56	8.134	7.851	0.283
57	8.101	7.644	0.457
58	8.126	7.827	0.299

59	8.118	7.7	0.418
60	8.129	7.724	0.405
61	8.119	7.654	0.465
62	8.11	7.824	0.286
63	8.132	7.538	0.594
64	8.112	7.662	0.45
65	8.091	7.397	0.694
66	8.141	7.784	0.357
67	8.122	7.453	0.669
68	8.145	7.692	0.453
69	8.126	7.332	0.794
70	8.095	7.478	0.617
71	8.14	7.222	0.918
72	8.144	7.899	0.245
73	8.158	7.868	0.29
74	8.148	7.84	0.308
75	8.121	7.699	0.422
76	8.124	7.801	0.323
77	8.115	7.846	0.269
78	8.118	7.775	0.343
79	8.126	7.66	0.466
80	8.153	7.48	0.673
81	8.161	7.712	0.449
82	8.116	7.619	0.497
83	8.5216	7.774	0.7476
84	8.138	7.536	0.602
85	8.127	7.725	0.402
86	8.166	7.581	0.585
87	8.134	7.61	0.524
88	8.128	7.308	0.82
89	8.157	7.773	0.384
90	8.112	7.696	0.416
91	8.144	7.755	0.389
92	8.136	7.881	0.255
93	8.114	7.816	0.298
94	8.094	7.894	0.2
95	8.102	7.76	0.342
96	8.136	7.603	0.533

97	8.128	7.557	0.571
98	8.136	7.543	0.593
99	8.152	7.822	0.33
100	8.126	7.754	0.372
101	8.183	7.934	0.249
102	8.134	7.711	0.423
103	8.122	7.553	0.569
104	8.142	7.868	0.274
105	8.111	7.73	0.381
106	8.134	7.782	0.352
107	8.141	7.965	0.176
108	8.137	7.888	0.249
109	8.133	7.828	0.305
110	8.117	7.964	0.847
111	8.142	7.871	0.271
112	8.181	7.954	0.227
113	8.126	7.891	0.235
114	8.109	7.66	0.449
115	8.105	7.816	0.289
116	8.125	7.582	0.543
117	8.106	7.471	0.635
118	8.102	7.71	0.392
119	8.09	7.46	0.63
120	8.108	7.67	0.438
121	8.13	7.761	0.369
122	8.089	7.458	0.631
123	8.109	7.673	0.436
124	8.13	7.704	0.426
125	8.108	7.878	0.23
126	8.123	7.53	0.593
127	8.073	7.602	0.471
128	8.14	7.74	0.4
129	8.152	7.656	0.496
130	8.145	7.337	0.808
131	8.083	7.681	0.402
132	8.15	7.677	0.473
133	8.104	7.532	0.572
134	8.114	7.715	0.399

135	8.176	7.956	0.22
136	8.116	7.81	0.306
137	8.136	7.375	0.761
138	8.121	7.547	0.574
139	8.207	7.803	0.404
140	8.12	7.584	0.536
141	8.135	7.842	0.293
142	8.119	7.876	0.243
143	8.13	7.713	0.417
144	8.095	7.72	0.375
145	8.18	7.714	0.466
146	8.103	7.701	0.402
147	8.133	7.703	0.43
148	8.162	7.593	0.569
149	8.097	7.676	0.421
150	8.09	7.63	0.46
151	8.138	7.557	0.581
152	8.1	7.67	0.43
153	8.16	7.733	0.427
154	8.13	7.539	0.591
155	8.104	7.51	0.594
156	8.13	7.504	0.626
157	8.13	7.687	0.443
158	8.145	7.682	0.463
159	8.121	7.848	0.273
160	8.205	7.973	0.232
161	8.098	7.787	0.311
162	8.108	7.734	0.374
163	8.162	7.553	0.609
164	8.111	7.692	0.419
165	8.134	7.766	0.368
166	8.13	7.799	0.331
167	8.105	7.943	0.162
168	8.09	7.962	0.128
169	8.092	7.934	0.158
170	8.107	7.582	0.525
171	8.097	7.628	0.469
172	8.133	7.794	0.339

173	8.12	7.806	0.314
174	8.142	7.833	0.309
175	8.137	7.61	0.527
176	8.152	7.772	0.38
177	8.137	7.881	0.256
178	8.127	7.916	0.211
179	8.192	7.946	0.246
180	8.146	7.551	0.595
181	8.127	7.697	0.43
182	8.15	7.883	0.267
183	8.139	7.871	0.268
184	8.132	7.979	0.153
185	8.136	7.69	0.446
186	8.14	7.798	0.342
187	8.084	7.717	0.367
188	8.2	7.993	0.207
189	8.15	7.814	0.336
190	8.139	7.882	0.257
191	8.104	7.951	0.153
192	8.117	7.841	0.276
193	8.118	7.54	0.578
194	8.143	7.585	0.558
195	8.145	7.632	0.513
196	8.125	7.896	0.229
197	8.129	7.827	0.302
198	8.145	7.93	0.215
199	8.116	7.95	0.166
200	8.083	7.775	0.308
201	8.109	7.722	0.387
202	8.14	7.909	0.231
203	8.121	7.794	0.327
204	8.154	7.86	0.294
205	8.143	7.785	0.358
206	8.162	7.869	0.293
207	8.151	7.834	0.317
208	8.13	8.034	0.096
209	8.12	7.912	0.208
210	8.197	7.703	0.494

211	8.211	7.886	0.325
212	8.119	7.859	0.26
213	8.156	7.821	0.335
214	8.156	7.732	0.424
215	8.129	7.812	0.317
216	8.172	7.839	0.333
217	8.139	7.798	0.341
218	8.136	7.627	0.509
219	8.169	7.978	0.191
220	8.131	7.856	0.275
221	8.138	7.674	0.464
222	8.111	7.682	0.429
223	8.11	7.777	0.333
224	8.155	7.972	0.183
225	8.195	7.675	0.52
226	8.153	7.961	0.192
227	8.114	7.797	0.317
228	8.203	8.038	0.165
229	8.105	7.863	0.242
230	8.119	7.918	0.201
231	8.106	7.691	0.415
232	8.155	7.867	0.288
233	8.122	7.653	0.469
234	8.124	7.808	0.316
235	8.133	7.895	0.238
236	8.153	7.901	0.252
237	8.1	7.969	0.131
238	8.151	7.939	0.212
239	8.104	7.872	0.232
240	8.13	8.001	0.129
241	8.121	7.484	0.637
242	8.111	7.888	0.223
243	8.132	7.825	0.307
244	8.127	7.774	0.353
245	8.124	7.852	0.272
246	8.146	7.988	0.158
247	8.148	7.875	0.273
248	8.145	8.053	0.092

249	8.21	7.815	0.395
250	8.179	7.953	0.226
251	8.115	7.418	0.697
252	8.129	7.756	0.373
253	8.099	7.897	0.202
254	8.147	7.949	0.198
255	8.155	7.606	0.549
256	8.109	7.905	0.204
257	8.136	7.893	0.243
258	8.13	7.818	0.312
259	8.132	7.709	0.423
260	8.102	7.811	0.291
261	8.116	7.838	0.278
262	8.141	7.898	0.243
263	8.153	7.829	0.324
264	8.122	7.968	0.154
265	8.137	7.829	0.308
266	8.138	7.753	0.385
267	8.12	7.951	0.169
268	8.121	8.004	0.117
269	8.091	7.868	0.223
270	8.094	7.982	0.112
271	8.141	7.538	0.603
272	8.148	7.869	0.279
273	8.177	8.024	0.153
274	8.113	7.996	0.117
275	8.111	7.797	0.314
276	8.129	7.514	0.615
277	8.122	7.87	0.252
278	8.143	7.947	0.196
279	8.134	7.806	0.328
280	8.177	7.993	0.184
281	8.135	7.825	0.31
282	8.169	7.935	0.234
283	8.129	7.891	0.238
284	8.142	7.903	0.239
285	8.144	7.952	0.192
286	8.144	7.757	0.387

287	8.131	7.879	0.252
288	8.133	7.837	0.296
289	8.146	7.88	0.266
290	8.13	7.858	0.272
291	8.124	7.667	0.457
292	8.125	7.725	0.4
293	8.147	7.857	0.29
294	8.144	7.586	0.558
295	8.082	7.702	0.38
296	8.141	7.903	0.238
297	8.123	7.908	0.215
298	8.14	7.888	0.252
299	8.104	7.795	0.309
300	8.1	7.914	0.186
301	8.085	7.819	0.266
302	8.127	7.887	0.24
303	8.144	7.556	0.588
304	8.145	7.942	0.203
305	8.165	7.549	0.616
306	8.146	7.929	0.217
307	8.146	7.537	0.609
308	8.103	7.98	0.123
309	8.143	7.638	0.505
310	8.144	7.921	0.223
311	8.182	7.831	0.351
312	8.118	7.557	0.561
313	8.136	7.725	0.411
314	8.141	7.742	0.399
315	8.122	7.357	0.765
316	8.137	8.04	0.097
317	8.144	7.868	0.276
318	8.127	7.832	0.295
319	8.124	7.991	0.133
320	8.133	7.955	0.178
321	8.115	7.982	0.133
322	8.135	7.725	0.41
323	8.141	7.844	0.297
324	8.133	7.833	0.3

325	8.138	7.821	0.317
326	8.142	7.745	0.397
327	8.134	7.607	0.527
328	8.18	7.974	0.206
329	8.12	7.709	0.411
330	8.127	7.858	0.269
331	8.143	7.76	0.383
332	8.119	7.592	0.527
333	8.155	7.597	0.558

Resultados del lado B

	Dia. Inicial	Dia. Final	Diferencia
Suma	2707.6366	2588.59	119.0466
Promedio	8.13104084	7.77354354	0.3574973
	Area Aguj. Tubo	Area Soldad.	% Red Area
Resultados	51.8703708	47.4596032	8.50344342

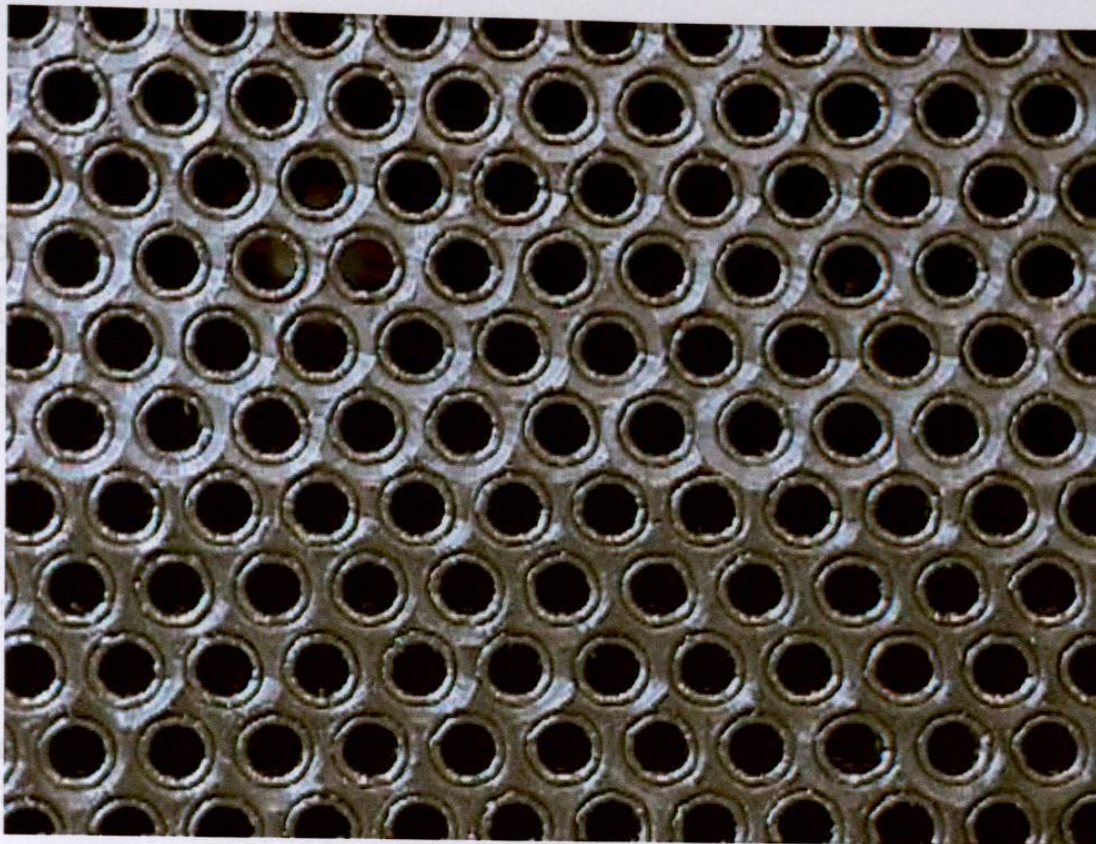
Los resultados para el lado B nos indican un 8.50 % en reducción de área en la salida de los tubos a través de la cual se realiza el flujo de la solución débil en el intercambiador de calor

4. ANALISIS DEL PROCESO ACTUAL DESPUES DE APLICAR UN PROCESO DE RECTIFICADO.

4.1 Análisis y medición de los resultados.

Para realizar el proceso de rectificado del diámetro interior del tubo, se utiliza un taladro, con una broca de 5/16" que equivale a 7.937mm.

El estudio de tiempos demuestra que la operación para el proceso de rectificado requiere de 11 segundos por agujero para realizarlo. Multiplicados por los 666 tubos que contiene el intercambiador da un resultado de 7326 segundos por lado que se requieren para este proceso. Esto equivale a 4.07 horas adicionales de trabajo, además de la inversión en la herramienta, lo cual se considera no rentable.



El mínimo espesor de la placa con orificios es debido a la expansión de tubo no debe ser menor a los cuarenta y cinco milímetros exterior

Figura 7. Aspecto de la unión de los tubos y la placa con orificios, después de aplicar el proceso de rectificado.

De acuerdo con esta regla, el espesor de la pared de las placas con orificios, debe ser modificada de la siguiente manera:

Diámetro exterior del tubo= 10.2 mm

El espesor de las placas con orificios debe ser:

10.2 mm x 0.75= 7.65 mm

A 7.65 mm le corresponde una placa de 1.017" de espesor, que equivale a 7.93 mm, lo que cumple con la regla de T. E. M. A.

*T. E. M. A. Termal Exchanger Manufacturers Association
(Asociación de Manufactureros de Intercambiadores Térmicos)

5. UTILIZAR EL PROCESO DE EXPANSIÓN DEL TUBO SIN APLICAR MATERIAL PARA LOGRAR EL SELLO.

5.1 Cambios de material requeridos.

De acuerdo con la T. E. M. A.* los intercambiadores de calor en los que se realiza la unión de la placa con agujeros y los tubos mediante la expansión del tubo, se deben de considerar la siguiente regla:

El mínimo espesor de la placa con orificios en juntas por expansión de tubo no debe ser menor a tres cuartas partes del diámetro exterior del tubo para tubos de 1 pulgada de diámetro exterior o más pequeños.

De acuerdo con esta regla, el espesor de la pared de las placas con orificios, debe ser modificada de la siguiente manera:

$$\text{Diámetro exterior del tubo} = 10.2 \text{ mm}$$

El espesor de las placas con orificios debe ser:

$$10.2 \text{ mm} \times 0.75 = 7.65 \text{ mm}$$

A 7.65 mm le corresponde una placa de 5/16" de espesor, que equivale a 7.93 mm, lo que cumple con la regla de la T. E. M. A.

*T. E. M. A. Termal Exchangers Manufacturers Association
(Asociación de Manufactureros de Intercambiadores Tubulares)

Consideraremos placa de un espesor de 3/8" que equivalen a 9.52 mm, ya que la placa de espesor de 5/16" no es de uso común en la planta fabricante de Carrier México.

5.2 Descripción del proceso.

El proceso de unión consiste en aplicar una expansión al tubo con el empleo de una herramienta llamada rolador con la finalidad de lograr un sello mecánico entre los tubos y las placas con orificios.

El porcentaje de expansión que se aplica a los tubos es del 8 %, que es un valor considerado como un estándar en Carrier México.

Para calcular el diámetro al cual la pared interior del tubo debe ser expandida, se utiliza la siguiente formula:

$$\phi \text{ rolado} = \phi \text{ agujero} - 2(e) + \% E[2(e)]$$

donde:

ϕ rolado= Diámetro al cual el tubo debe ser expandido para cumplir con el 8% de expansión.

ϕ agujero= Diámetro del agujero en la placa con orificios.

e= Espesor de pared del tubo.

%E= 0.08 = Porcentaje de expansión del tubo (Estándar utilizado por Carrier México).

Para la prueba propuesta tenemos los siguientes datos.

$$\phi \text{ agujero} = 0.401$$

$$\%E = 0.08$$

$$e = 0.0393$$

$$\phi \text{ rolado} = \phi \text{ agujero} - 2(e) + \% E[2(e)]$$

$$\phi \text{ rolado} = 0.401 - 2(0.039) + 0.08 [2(0.039)]$$

$$\phi \text{ rolado} = 0.329$$

5.3 Ejecución de la prueba.

La fabricación de un intercambiador de calor para una unidad de 800 toneladas es aprovechada para realizar las pruebas propuestas en este capítulo.

Las placas con orificios para este intercambiador son de 9.52 mm de espesor, por lo que cumplen con la regla mencionada en el punto 5.1.

El material que se requiere para realizar el proceso de rolado es el siguiente:



Figura 8 Pistola neumática para rolado.

5.5 Prueba de hermeticidad

La
consi
soluc
de al

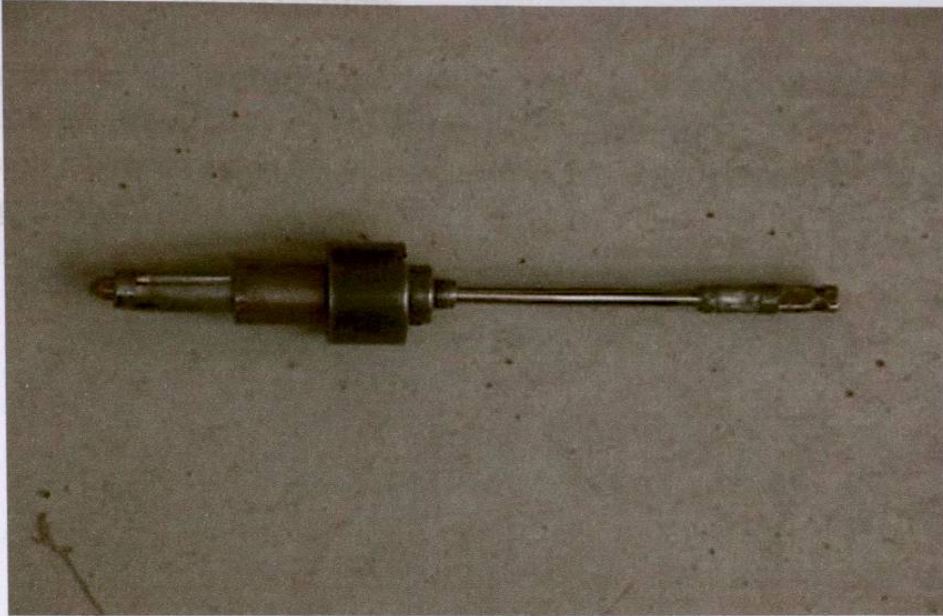


Figura 9. Rolador.

5.4 Análisis y medición de los resultados.

El diámetro del tubo, tanto en la entrada como en la salida del intercambiador es expandido por el rolador, por lo que el problema de reducción de área para el flujo de la solución débil se corrige con la aplicación de este proceso.

El tiempo que se requiere para aplicar el proceso de rolado es de 8 segundos por tubo, lo que comparado con los 13 segundos que se requieren para soldarlo nos indica una mejora en el tiempo para realizar el proceso de unión en un 38 %.

El consumo de energía eléctrica se reduce y el de gas argón se elimina por completo al sustituir la soldadura TIG por el proceso de rolado que solamente consume aire a presión y un poco de aceite para lubricación de los rodillos del rolador.

5.5 Prueba de hermeticidad.

La prueba de hermeticidad que se realiza al intercambiador de calor, consiste en presurizar el ensamble a una presión de 15 psi y rociar con solución jabonosa todos los tubos que se rolaron para identificar la existencia de alguna fuga.

6. UTILIZAR EL PROCESO DE EXPANSIÓN DE TUBO CON LA APLICACIÓN DE UN MATERIAL PARA LOGRAR EL SELLO.

6.1 Cambios de material requeridos.

Los cambios que se requieren en cuanto a los componentes metálicos del intercambiador fueron descritos en la sección 5.1 del capítulo 5.

El material que se aplica para lograr el sello es un Loctite 609, fabricado por la compañía Loctite de México S.A. de C.V.

6.2 Descripción del proceso.

Las siguientes condiciones se deben considerar para iniciar el proceso de rolado:

- a) La limpieza de los agujeros de la placa con orificios y los tubos deben estar libres de grasa, aceite, rebabas metálicas y rayas longitudinales o en espiral que estén de lado a lado del agujero para lograr una buena junta.
- b) Los tubos pueden salir $1/16''$ como mínimo antes del rolado para una apropiada aplicación del Loctite 609. Los tubos no deben quedar más de $1/8''$ dentro del agujero, después del rolado.
- c) La profundidad del rolado, no debe exceder el espesor de la placa con orificios, o bien, $1/16''$ menos del espesor, por ejemplo: espesor de la placa con orificios = $3/8''$. La profundidad del rolado será $5/16''$.

El proceso consiste en aplicar una gota del material sellador Loctite 609 sobre la superficie saliente del tubo, un momento antes de aplicar el rolado. La gota se debe aplicar a no mas de cinco tubos a la vez, para evitar que el sellador se seque antes de expandir el tubo.

6.3 Ejecución de la prueba.

La fabricación del mismo intercambiador de calor para una unidad de 800 toneladas es aprovechada para esta prueba, ya que se seleccionó un lado para aplicar el proceso de rolado con la aplicación de Loctite y el otro para aplicar el rolado sin sellador.

Las herramientas que se utilizan para aplicar el proceso son las mismas que se describen en el punto 5.3

6.4 Análisis y medición de los resultados.

Se observó que el problema de la reducción en diametro del tubo, tambien se corrige.

El tiempo que se requiere para aplicar el proceso de rolado con Loctite tambien es menor al que se necesita para soldarlo, pero es mayor al que se invierte en el rolado sin Loctite, ya que la operación de aplicar el sellador se lleva 4 segundos por tubo.

El costo del material loctite es de aproximadamente \$1.00 USD por mililitro, por lo que su aplicación incrementaría significativamente el costo de los materiales para la fabricación para los intercambiadores.

6.5 Prueba de hermeticidad.

La prueba de hermeticidad que se realiza al intercambiador de calor, consiste en presurizar el ensamble a una presión de 15 psi y rociar con solución jabonosa todos los tubos que se rolaron para identificar la existencia de alguna fuga.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones.

La implementación del cambio del proceso de soldadura a un proceso de rolado, definitivamente es la solución al problema de reducción del diámetro interior del tubo, ya que al rolar el tubo, su diámetro interior tiende a expandirse y de esta manera evita la reducción en área de flujo.

La opción de aplicar un proceso de rectificado posterior al proceso de soldadura, nos permite corregir el problema de la reducción de área, pero a su vez, la rudeza de su aplicación produce fugas en la soldadura y además incrementa el costo de fabricación, desde el punto de vista de materiales y mano de obra.

7.2 Recomendaciones.

Con respecto a los dos procesos propuestos de rolado, el que se refiere a la aplicación del material Loctite 609, es de mayor confiabilidad la junta que se logra, pero notablemente se presenta un incremento al costo de los materiales, por lo que no es recomendable.

Definitivamente el proceso que resulta ser el más recomendable para implementar, es el que se recomienda, que únicamente se utilice la herramienta para rolado, pero *sín* la necesidad de aplicar el sellador Loctite 609, ya que la presión a la que se prueba el intercambiador, nos indica que se logra hermeticidad para evitar fugas en dicho ensamble.

Cabe hacer la aclaración que aún y que se llegaran a presentar pequeñas fugas en los tubos del intercambiador de calor, el impacto que produciría en el funcionamiento de la máquina sería mínimo, ya que como se menciona en la descripción del producto del capítulo 2 , la solución que circula por uno de

los circuitos del intercambiador de calor es del 58 % en peso de bromuro de litio en agua y la que circula por el otro circuito, es del 63 %, lo cual nos indica que una pequeña fuga no afectaría las concentraciones de dichas soluciones..

BIBLIOGRAFIA

Carrier Corporation

**Start-up, Operation and Maintenance Instruccion For double Effect hermetic
Absorption liquid Chillers.**

New Publication 1997

Moyer and Fittz

Refrigeration

Second Edition 1932

Mc Graw-Hill

Tubular exchangers manufacturers association, inc.

Standards of the tubular exchanger manufacturers association

Seventh edition

1988

Lista de tablas	Pág.
Tabla 1 resultados de mediciones del lado A.....	16
Tabla 2 resultados de mediciones para el lado B.....	26

Lista de figuras.	Pág.
Fig. 1 Diagrama esquemático del ciclo de absorción de doble Efecto (Cortesía de Carrier México).....	10
Fig. 2 Colocación de los ángulos para sujetar las placas con Orificios.....	12
Fig. 3 Colocación de los tubos en las placas con orificios.....	13
Fig. 4 Aplicación del proceso de soldadura.....	14
Fig. 5 Aspecto de la soldadura al finalizar el proceso.....	15
Fig. 6 ingeniero de Carrier México midiendo los resultados.....	16
Fig. 7 Aspecto de la unión de los tubos y la placa con orificios.....	37
Fig. 8 Pistola neumática para rolado.....	40
Fig. 9 Rolador.....	41

Apéndice A

Glosario de Términos

Bromuro de litio: Solución salina que tiene la propiedad química de absorber vapor de agua, su estado natural al 100% es en forma de roca, pero en refrigeración se utiliza disuelto en agua a diferentes concentraciones.

Calor de vaporización: Es la cantidad de energía que se requiere agregar a una sustancia en estado líquido para convertirla en gas, sin que varía su temperatura.

Presión absoluta: es aquella presión que se mide tomando en cuenta la presión atmosférica (14.7 lb/pulg²). Y consiste en sumar la presión atmosférica a la presión manométrica.

Presión de vacío: es aquella presión cuyo valor es menor a la presión atmosférica. Si consideramos la presión atmosférica en 14.7 lb/pulg², cualquier presión absoluta inferior a este valor se considera de vacío.

Rolado: Es un sello mecánico debido al aplastamiento de la pared del tubo contra la placa con orificios por medio de un expansor.

Rolador: Herramienta que consiste de tres rodillos en forma de cilindro montados en una caja longitudinal y giran libremente sobre una flecha cónica llamada mandril que hace la función de martilleo al ir penetrando por el centro de la caja longitudinal friccionando los rodillos cilíndricos.

Solución débil: Término que se utiliza en refrigeración para denominar a la solución de bromuro de litio en menores concentraciones (56 a 58 % en peso de solución de bromuro de litio en agua)

Solución fuerte: Término que se utiliza en refrigeración para denominar a la solución de bromuro de litio a mayores concentraciones (59 a 63% en peso de solución de bromuro de litio en agua).

TIG (Tungsteno gas inerte):Proceso de soldadura que consiste en la formación de un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno (no consumible) y el material a soldar, protegiendo la zona de aplicación de soldadura mediante un gas inerte (argón, helio o una mezcla de ambos) en ocasiones se usa un material de relleno, aunque a veces no es necesario por el tipo de junta que se realiza.

AUTOBIOGRAFIA

Luis Enrique Díaz Garza (1973-...) nacido en Linares, Nuevo León, donde ingresó a la Preparatoria #4 de la U.A.N.L. (1988-1990) decidiéndose por la del tipo tradicional, ya que su plan era continuar sus estudios en la Universidad. Los conocimientos que adquirió en la Preparatoria lo llevaron a continuar sus estudios en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Se mudó a la ciudad de Monterrey, Nuevo León para iniciar sus estudios en la F.I.M.E. (1990-1995) seleccionando la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista.

En marzo de 1995, cuando cursaba el 10° semestre ingresó a la compañía Carrier México para realizar sus practicas profesionales, donde se desempeñó como auxiliar en el departamento de ingeniería de calidad. En junio logra terminar sus estudios y en septiembre obtiene la aprobación de su examen profesional, misma que consiguió con *mención honorífica* por su promedio de desempeño y haber aprobado todas sus materias en la primera oportunidad.

Posteriormente fue contratado por honorarios por la misma compañía para prestar sus servicios como ingeniero de calidad en el área de unidades de absorción.

En agosto de 1996 decide iniciar sus estudios en la sección de Post-Grado de la F.I.M.E., seleccionando la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Térmica y Fluidos, misma que consigue sea financiada por Carrier México a partir de diciembre de 1996, cuando es contratado de planta, para ocupar el puesto de Ingeniero de Producto en el área de Unidades de Absorción.

En septiembre de 1997 acude a un curso en la ciudad de Phoenix, Arizona, donde es entrenado para realizar diagnósticos y dar servicio a las unidades de absorción en campo.

En enero de 1998 se desarrolla como Ingeniero de Campo, donde sus actividades, hasta la fecha, consisten en supervisar los servicios que se prestan a las unidades en campo, instaladas en diversos estados de los Estados Unidos, Brasil, Colombia, Venezuela, Argentina y Canadá.

